

JAP20 Rec'd PCT/PTO 07 JUN 2006
明細書

光ファイバ母材の延伸方法および延伸装置

技術分野

- [0001] 本発明は、光ファイバ母材を加熱軟化させつつ所望の外径になるように延伸する光ファイバ母材の延伸方法及びその方法の実施に使用される延伸装置に関する。

背景技術

- [0002] 光ファイバは、光ファイバ母材(プリフォーム)を線引き加工することにより製造される。このプリフォームは、外径の長手方向への変化が比較的大きい光ファイバ母材(出発母材)を加熱手段によって加熱軟化させつつ、所望の外径となるように引き延ばす延伸加工にかけることによって得られる。加熱手段としては、酸素、水素、メタンなどを燃料ガスとした加熱バーナー火炎や、抵抗加熱ヒータ等を用いた電気炉などが用いられている。

- [0003] 近年、光ファイバの生産性を向上させるために、大型の出発母材を使用するようになってきている。しかし、外径が100mmを超えるような出発母材の場合、発熱量の大きな加熱手段が必要であり、加熱手段として加熱バーナーを用いることは困難である。従って、通常、抵抗加熱ヒータ等を有する電気炉が使用される。

- [0004] しかしながら、ヒートゾーンの大きな電気炉を用いた延伸加工で得られる光ファイバ母材、即ちプリフォームの寸法精度は、加熱バーナーを用いた延伸加工で得られるものと比べると劣る。

- [0005] 従って、加熱手段として電気炉を用いて延伸加工した光ファイバ母材は、長手方向における外径寸法の変動が大きくなる。そのため、最終の線引き工程に差し障りがないように、通常は、電気炉を用いた延伸加工の後に、小型の加熱手段、例えば、小型加熱バーナー(燃料ガス:酸素、水素、メタンなど)あるいは小型の電気炉を用いて、仕上げ延伸加工が行われている。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 外径の大きい出発母材を延伸して製造された長手方向に外径寸法の変動がある、

例えば、電気炉延伸母材を次工程の仕上げ延伸加工する場合、従来の延伸方法では、光ファイバ母材は、単位時間当たりの供給熱量を一定として、母材の長手方向に一定の速度で移動する加熱手段により加熱される。しかしながら、このような従来の仕上げ延伸加工では、外径の大きい部分において母材の加熱が不十分となり、母材が十分に軟化せず、母材が破壊されることがあった。また、外径寸法の変動が大きい場合、母材の最大径部分において引張力が極端に大きくなる場合があり、延伸設備を破損することもあった。さらに、外径の小さい部分は、必要以上に加熱され、外径制御に悪影響が生じる場合があった。

[0007] そのため、従来は、外径変動の大きな光ファイバ母材は仕上げ延伸加工にかけることなく、不良品として排除しており、これが製造歩留まりを低下させる要因となっていた。

[0008] 本発明は、以上の問題を解決するためになされたものであり、光ファイバ母材を延伸した時、その直径寸法の長手方向の変動を少なくし、従って製品歩留まりを向上させることができる光ファイバ母材の延伸方法及びその方法の実施に用いる延伸装置を提供することを目的とする。更に、従来の方法で処理した場合、長手方向の外径寸法の変動が大きくなりがちである電気炉延伸光ファイバ母材であっても仕上げ延伸加工を行い得る光ファイバ母材の延伸方法及びその方法の実施に用いる延伸装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の方法は、光ファイバ母材の長手方向両端を一対の把持具で把持し、該一対の把持具の一方又は両方を前記長手方向に平行な第一の方向に移動させることにより光ファイバ母材を引張りながら加熱装置を前記第一の方向と反対の第二の方向に光ファイバ母材に対して相対的に移動させることを含む光ファイバ母材の延伸方法であって、前記相対的な移動速度 $V_b(x)$ を式(1)に従い変化させつつ前記光ファイバ母材の延伸を行う、延伸方法である：

$$V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^2 \leq V_b(x) \leq V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (1)$$

式中、 V_b は基準速度、 D_{\max} は光ファイバ母材の最大外径、 $D(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における外径、及び $V_b(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における

る加熱装置の光ファイバ母材に対する相対移動速度をそれぞれ表す。

- [0010] 上記光ファイバ母材の延伸方法の好ましい態様は下記(A)乃至(H)の通りであるが、場合によりそれらの中から適宜二つ以上を組み合わせることも可能である。
- [0011] (A) 延伸に先立ち、光ファイバ母材の外径をその長手方向にわたって測定し、前記測定の結果に基づいて、前記ファイバ母材に対する加熱装置の相対移動速度を変化させつつ、前記母材の延伸を行う、上記の延伸方法。
- [0012] (B) 光ファイバ母材の引張速度を下記式(2)を満たす範囲内に設定する、上記の延伸方法:

$$0.5 \leq (D_t / D_{\max})^2 \leq 0.99 \quad (2)$$

式中、 D_t は延伸目標外径であり、 D_{\max} は前記式(1)で定義した意味と同じである。

- [0013] (C) 前記加熱装置はバーナーであり、加熱バーナー火口の中心線と光ファイバ母材の軸線とが垂直に交わる点が、加熱バーナーの加熱により光ファイバ母材の外径が変化を始める位置から前記第二の方向に0乃至50mm離れた位置に在る、上記の延伸方法。
- [0014] (D) 加熱装置に使用する支燃性ガスが酸素であり、可燃性ガスが水素またはプロパンである、上記の延伸方法。
- [0015] (E) 前記加熱装置は電気炉であり、前記光ファイバ母材の長手方向と平行に前記電気炉を配置し、電気炉の長手方向中央と光ファイバ母材の軸線とが垂直に交わる点が、前記電気炉の加熱により光ファイバ母材の外径が変化を始める位置から前記第二の方向に0乃至50mm離れた位置に在る、上記の延伸方法。
- [0016] (F) 前記相対速度は、前記一対の把持具の一方を固定し、前記加熱装置を前記第二の方向に移動させることで生じる相対速度である、上記の延伸方法。
- [0017] (G) 前記相対速度は、前記一対の把持具の両方を前記第一の方向に異なる速度で移動させ、かつ前記加熱装置を固定することにより生じる相対速度である、上記の延伸方法。
- [0018] (H) 前記相対速度は、前記一対の把持具の両方を前記第一の方向に異なる速度で移動させ、かつ前記加熱装置を前記第二の方向に移動させることにより生じる相対速度である、上記の延伸方法。

[0019] 更に、本発明は、光ファイバ母材の長手方向両端を把持する一対の把持具と、光ファイバ母材の外周を加熱する加熱装置と、前記一対の把持具の一方または両方を前記長手方向に平行な第一の方向に前記光ファイバ母材を引張るように移動させる把持具移動装置と、演算制御部とを具備する光ファイバ母材の延伸装置であって、前記演算制御部は、光ファイバ母材の被加熱位置の目標移動速度を、前記光ファイバ母材に対する前記加熱装置の相対移動速度として演算制御し、前記相対移動速度を $V_b(x)$ とする時、 $V_b(x)$ を式(1)に従い変化させる、光ファイバ母材の延伸装置を提供するものである：

$$V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^2 \leq V_b(x) \leq V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (1)$$

式中、 V_b は基準速度、 D_{\max} は光ファイバ母材の最大外径、 $D(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における外径、及び $V_b(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における加熱装置の光ファイバ母材に対する相対移動速度をそれぞれ表す。

[0020] 上記光ファイバ母材の延伸装置の好ましい態様は下記(a)乃至(i)の通りであるが、場合によりそれらの中から適宜二つ以上を組み合わせることも可能である。

[0021] (a) 前記光ファイバ母材の長手方向の各位置における外径を測定するための外径測定装置を更に含む、上記の延伸装置。

[0022] (b) 前記演算制御部は、前記光ファイバ母材の長手方向の各位置の外径寸法に基づいて、前記光ファイバの引張速度も演算し、その結果に基づいて前記把持具移動装置が、前記一対の把持具の一方あるいは両方を移動させる、上記の延伸装置。

[0023] (c) 前記光ファイバの引張り速度を下記式(2)を満たす範囲に設定する、上記の延伸装置

$$0.5 \leq (Dt / D_{\max})^2 \leq 0.99 \quad (2)$$

式中、 Dt は延伸目標外径であり、 D_{\max} は前記式(1)で定義した意味と同じである。

[0024] (d) 前記一対の把持具の両方を移動させる場合、長手方向両端の把持具は前記第一の方向に前記光ファイバ母材が引張られるように異なる速度で前記把持具移動装置により移動される、上記の延伸装置。

[0025] (e) 前記加熱装置が加熱バーナーである、上記の延伸装置。

[0026] (f) 前記被加熱位置が、加熱バーナーの加熱により光ファイバ母材の外径が変化を

始める位置から前記加熱バーナーの光ファイバ母材に対する相対移動方向に0乃至50mm離れた位置に在る、上記の延伸装置。

- [0027] (g) 前記加熱装置に使用する、支燃性ガスが酸素であり、可燃性ガスが水素或いはプロパンである、上記の延伸装置。
- [0028] (h) 前記加熱装置が電気抵抗加熱炉である、上記の延伸装置。
- [0029] (i) 前記第一の方向と反対の第二の方向に前記加熱装置を移動させる加熱装置移動装置を更に含む、上記の延伸装置。

発明の効果

- [0030] 本発明による光ファイバ母材の延伸方法及び延伸装置では、光ファイバ母材に対する加熱装置の相対的な移動速度を延伸前の光ファイバ母材の外径寸法(断面積)の長手方向での変化に応じて制御する。よって、光ファイバ母材の太径部においては、加熱装置の移動速度をより低速とすることにより光ファイバ母材の軟化に十分な熱量を与えることが可能になり、また、細径部においては、加熱装置の移動速度をより高速とすることにより、光ファイバ母材を必要以上に加熱するのを避けることができ、これにより、精密に所望の外径または直径となるように光ファイバ母材を延伸することが可能になる。また、本発明は、延伸加工に要する時間及びガスの消費量が低減可能であるので、コスト低減に寄与する。
- [0031] また、本発明によれば、最大径が100mmを超え、且つ外径の長手方向の変動が大きい大型の光ファイバ母材であっても、一様な外径のプリフォームに仕上げ延伸加工することが可能となる。よって、光ファイバの製造コストを低減することができる。
- [0032] さらに、本発明によれば、延伸設備に過大な負荷をかけることなく光ファイバ母材を延伸することが可能となる。よって、従来長手方向での外径寸法の変動が大きく不良品として排除されていた光ファイバ母材についても仕上げ延伸加工が可能となり、歩留まりを向上させることができる。
- [0033] また、本発明の延伸装置を用いれば、光ファイバ母材の細径部側から太径部側へ加熱バーナーを移動させて延伸を行っても、光ファイバ母材の各部位に延伸に必要な熱量を供給することができるため、従来の延伸装置のように加熱不足で延伸ができないなくなる恐れはない。

図面の簡単な説明

- [0034] [図1]本発明の延伸装置の一実施形態の構成を示す概略図である。
- [図2]光ファイバ母材(出発母材)の外径を測定する装置の発光部及び受光部を示す図である。
- [図3]本発明の延伸装置の他の例の構成を示す概略図である。
- [図4]本発明の延伸装置のさらに他の例の構成を示す概略図である。
- [図5]光ファイバ母材の外径と加熱バーナーの移動速度及び光ファイバ母材の引張速度との関係を、図1に示す本発明の延伸装置の場合及び従来の延伸装置の場合について比較して示すグラフである。
- [図6]光ファイバ母材の本発明の延伸装置による延伸加工前後の外径寸法の長手方向での変動を示すグラフである。

[0035] (符号の説明)

- 1……光ファイバ母材
- 2……固定チャック
- 3……移動チャック
- 4……加熱バーナー
- 5……バーナー台移動装置
- 6……移動チャック移動装置
- 7……演算制御部
- 8……外径測定装置
- 8a…発光部
- 8b…受光部
- 9……母材供給チャック移動装置
- 14……電気炉
- 15……電気炉移動装置
- E……延伸装置

発明を実施するための最良の形態

- [0036] 本発明の最良の形態を図面を用いて説明する前に、本明細書で用いる各用語の

意味を以下説明する。

- [0037] 本明細書で言う「光ファイバ母材」とは60mm乃至120mmの外径又は直径を有するプリフォームを意味する。しかし、本発明の方法及び装置は、更に大径のインゴット、例えば、200mm程度までのインゴットの延伸に適用することも可能である。
- [0038] 「基準速度」とは、加熱装置からの熱量を一定とした時、所定の外径(例えば、80m m)を有する光ファイバ母材に対する加熱装置の相対移動速度を言う。この基準速度は加熱方式(加熱バーナーか電気抵抗加熱炉か)、バーナー使用の場合には使用ガスの種類、処理母材の外径変動幅、延伸目標外径等が決まれば、経験的に決めることができるものである。実施例にもその記載があるように、外径が長手方向に75mm～96mmで、延伸開始端の外径が85mm、延伸目標径が75mmである時、基準速度は経験的に6.9mm／分と設定することができる。
- [0039] 「光ファイバの被加熱位置」とは、加熱装置が加熱バーナーである時、加熱バーナーの火口の中心を通る中心線と母材の軸線とが垂直に交わる点に対応する母材の表面を意味する。加熱装置が電気抵抗加熱炉である場合には、母材の長さ方向に母材と平行に配置される加熱炉の中央部に対応する母材表面を言う。
- [0040] 以下、図面を用いて本発明の実施形態を説明する。
- [0041] 図1は、本発明による光ファイバ母材の延伸装置の一実施形態の構成を概略的に示す図である。この実施形態の装置では、加熱装置が加熱バーナーであり、このバーナーが移動する。光ファイバ母材の両端を把持する把持装置は一方だけが移動し、他方は固定されている。
- [0042] 図1に示すように、延伸装置Eは、光ファイバ母材1の一端を把持する固定式スクロールチャック(以下、固定チャックと称する)2及び他端を把持する移動式スクロールチャック(以下、移動チャックと称する)3、加熱バーナー4、バーナー台移動装置(加熱バーナー4の移動装置)5、移動チャック3を移動させる移動チャック移動装置6、及びバーナー台移動装置5と移動チャック移動装置6の移動速度を制御する演算制御部7を含む。バーナー台移動装置5は、加熱バーナー4の移動速度が演算制御部7から送られる指令に従って後述の目標移動速度になるように加熱バーナー4を移動させるように構成されている。移動チャック移動装置6は、移動チャック3の移動速度

が演算制御部7から送られる指令に従って後述の目標引張り速度になるように移動チャック3を移動させるように構成されている。

- [0043] 図2は光ファイバ母材の外径測定法の原理を概略的に示す図である。図2に示すように、延伸加工に先立ち、発光部8a及び受光部8bを有する外径測定装置8、例えば、レーザー外径測定装置、により光ファイバ母材1の外径をその長手方向全体に亘って連続的に或いは一定の間隔で測定する。外径測定装置8は発光部8aと受光部8bとを有する。発光部8aと受光部8bは光ファイバ母材1を挟んで対向する位置に置かれ、発光部8aからレーザー光を送出し、受光部8bでこのレーザー光を受光する。
- [0044] 光ファイバ母材1の延伸加工は、バーナ一台移動装置5が移動チャック3側から固定チャック2側(第二の方向)に移動させる加熱バーナー4の火炎によって光ファイバ母材1の外周面を加熱し、それと同時に移動チャック移動装置6により移動チャック3を光ファイバ母材を引張る方向(第一の方向)に移動させて、光ファイバ母材1の溶融軟化した部分を引き延ばすことで行なわれる。加熱バーナー4による加熱中、光ファイバ母材1の所定の外周面を一様に加熱するため、光ファイバ母材1をその長手軸の回りに回転させる。そのため、延伸加工中、固定チャック2と移動チャック3とは、公知の回転機構(図示せず)により互いに同期して回転するように構成されている。
- [0045] 加熱バーナー4の光ファイバ母材1に対する相対移動速度及び移動チャック3の移動速度は、演算制御部7において光ファイバ母材1の外径寸法の長手方向での変動に応じて制御される。そのため、前記外径測定装置の発光部8aと受光部8bとを、移動チャック3側から固定チャック側に(またはその反対に)移動させて光ファイバ母材の長手方向の全面に亘って或いは一定の間隔で前記母材の外径を測定する。一定の間隔で測定する場合には、その間隔を、例えば0.5mm乃至2mm程度とし、その間隔で光ファイバ母材1の外径を測定する。得られた測定データは演算制御部7に入力される。演算制御部7では、この測定データに基づき、後述するように、加熱バーナー4及び移動チャック3の移動速度を光ファイバ母材1の被加熱位置x(例えば加熱バーナー4の固定チャック2からの距離)の関数として算出する。なお、演算制御部7には前以て各種データが入力されており、光ファイバ母材1の外径測定結果を変数として入力し、加熱方式の種類、バーナーを使用する場合には使用するガスの種

類等予め決まっているパラメータを使用条件に合わせて設定しておけば自動的にバーナーの移動速度及び移動チャックの延伸張力が演算して求められるように構成されている。

- [0046] 加熱バーナー4により、光ファイバ母材の被加熱部分における最高表面温度が2100°C前後、好ましくは2000°C乃至2200°Cの範囲、になるように加熱する。なお、光ファイバ母材1の延伸されつつある部分は、径が大きく変化し、ネック形状を呈する。このネック形状の部分において径変化率が最も大きくなる箇所(図1のa)は、加熱バーナー4の中心線位置(図1のb)から、加熱バーナー4の移動方向とは反対方向に例えば100mm程度離れた位置にある。また、加熱バーナー4の中心線位置は、光ファイバ母材1の径が変化する延伸直前位置(図1のc)から例えば50mm程度加熱バーナーの移動方向に離れた位置にある。
- [0047] このように、光ファイバ母材の熱伝導率は小さく、従ってそのコア部まで十分に熱が伝達されるには時間を要するため、加熱バーナーの加熱位置と延伸開始位置とは必ずしも一致しない。
- [0048] 本発明の最大の特徴は、加熱装置から光ファイバ母材に与えられる熱量を一定とするとき、光ファイバ母材に対する加熱バーナーの相対移動速度を演算制御装置でどのように決定するかにある。この実施形態の場合には、両端のチャックのうち移動チャックのみが延伸のために移動する構成であるので、加熱バーナーの移動速度が上記相対移動速度に相当する。本発明では、光ファイバ母材の被加熱位置xにおける加熱装置の光ファイバ母材に対する相対移動速度をVb(x)とする時、下記式(1)が成立するように、演算制御部7で、測定された光ファイバ母材の外径をデータとして入力した際に、演算かつ制御する：
- $$Vb \cdot [D_{\max} / D(x)]^2 \leq Vb(x) \leq Vb \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (1)$$
- 式中、Vbは基準速度、 D_{\max} は光ファイバ母材の最大外径を表し、D(x)は光ファイバ母材の被加熱位置xにおける外径を表し、かつVb(x)は上に定義した意味を有する。即ち、幕数をnとする時、nは $2 \leq n \leq 3$ を満足する値を取ればよく、整数である必要はない。
- [0049] ここで、基準速度Vbは、用語の定義の項で示した通り、処理すべき光ファイバ母材

の外径の変動範囲、目標延伸外径等が分かれば、経験的に設定できる速度である。光ファイバ母材の最大外径 D_{max} 及び光ファイバ母材の被加熱位置xにおける外径 $D(x)$ は外径測定装置による測定の結果を入力すればよい。従って、光ファイバ母材の外径測定をすれば、相対移動速度 $Vb(x)$ の範囲は自動的に決定される。なお、被加熱位置xとは図1の加熱バーナー4の中心線位置を言う。

- [0050] 相対移動速度 $Vb(x)$ を $Vb \cdot [D_{max} / D(x)]^2$ 以上かつ $Vb \cdot [D_{max} / D(x)]^3$ 以下に設定すると外径変動の少ない延伸ができる理由は、以下の通りである。
 - [0051] 即ち、光ファイバ母材を所定の延伸可能温度まで加熱するには、断面積が大きくなればなるほど、相対移動速度を遅くする必要がある。一方、光ファイバ母材の芯まで十分に加熱するには、位置が決まれば測定結果に基づき値の決まる $[D_{max} / D(x)]$ の値の二乗に比例させるのが合理的である。一般的に言えば、延伸を円滑に進行させるには、延伸するのに不十分な温度で行うよりも少し過剰気味の熱量を与え引張速度との相関関係で延伸を行うことが望ましく、その意味では、 $[D_{max} / D(x)]$ の値の三乗に比例させて、延伸を行うことは特に問題がない。
 - [0052] 但し、本発明では、基準速度に対して $[D_{max} / D(x)]$ の値の二乗近辺の値を使用するのは、比較的細径の光ファイバ母材、例えば、90mm位の母材、を最大外径と目標延伸外径との差が精々5mm乃至10mm程度の場合である。一方、前記値の三乗に近い値を使用する場合は、太径、例えば、120mm位の母材であるか、最大外径と目標延伸外径の差が大きい場合、例えば、10mmを超える差異がある場合である。
 - [0053] 一方、予め光ファイバ母材の最大径 D_{max} 部分の径を1乃至10mm減縮するよう延伸する場合のチャックの移動速度(母材の引張速度)に注目すれば、前述の相対移動速度 $Vb(x)$ の限定を考慮した上で、移動チャック3の移動速度を $0.5 \leq (Dt / D_{max})^2 \leq 0.99$ の関係が満たされる範囲に設定することが望ましい。
 - [0054] 加熱バーナー4の火炎強度が一定であるとき、加熱バーナー4の移動速度を従来の延伸装置のように一定にすると、光ファイバ母材1の太径部への加熱が不足し、一方、細径部への加熱が過大となる。そのため本実施形態は、延伸前の光ファイバ母材1の外径又は直径寸法の長手方向での変動を考慮して、加熱バーナーの移動速

度を変化させる構成をとなっているのは上述の通りである。

- [0055] 具体的には光ファイバ母材1の太径部を加熱する位置では、加熱バーナー4の移動速度、即ち光ファイバ母材の被加熱部分の移動速度を遅くすることにより、太径部への加熱不足を防止する。それにより光ファイバ母材の軟化不足に起因する光ファイバ母材の破損や延伸設備の損傷を避けることができる。また、細径部を加熱する位置では、加熱バーナー4の移動速度を速くすることにより、細径部が必要以上に加熱されることを防止する。
- [0056] 直径が長手方向に徐々に大きくなる(または徐々に小さくなる)光ファイバ母材を延伸する場合、延伸初期に発生する径のハンチングを小さくするためには、径の小さい方の端を延伸開始端、つまり引張側とすることが望ましい。
- [0057] 上記実施形態では加熱バーナーを移動させるが、図3に示すように、加熱バーナーを固定し、光ファイバ母材(出発母材)を移動させる構成としてもよい。この場合、図3に示すように、図1の固定チャック2に代えて可動の母材供給チャック9を用い、加熱バーナー4を移動させるバーナー一台移動装置5に代えて母材供給チャック9を移動させる母材供給チャック移動装置10を使用すればよい。この場合、光ファイバ母材の引張速度は移動チャック3の移動速度と母材供給チャック9の移動速度との差となる。同時に、この母材供給チャックの移動速度が加熱バーナーの光ファイバ母材に対する相対移動速度となる。移動チャック移動装置6及び母材供給チャック移動装置10は、光ファイバ母材の被加熱部分の移動速度が演算制御部7が演算した目標移動速度となるように、且つ、移動チャック3と母材供給チャック9の移動速度との差が演算制御部7が演算した目標引張り速度となるように、移動チャック3と母材供給チャック10とをそれぞれ移動させる。上記の例では、加熱バーナーを固定しているが、母材供給チャック9も移動させつつ、加熱装置、この場合には加熱バーナーも移動させることができるのは勿論のことである。
- [0058] 図1及び図3で示す延伸装置では、加熱装置としてガスバーナーを用いているが、これらの加熱装置に用いるガスの例としては、可燃性ガスとして水素ガス、支燃性ガスとしては酸素ガスの組み合わせ、或いは可燃性ガスとしてプロパンガス、支燃性ガスとしては酸素ガスの組み合わせが挙げられる。

[0059] 上記実施形態では加熱装置として加熱バーナーを用いたが、小型の電気炉を用いることも可能である。この場合、例えば、図4に示すように、加熱バーナー4に代えて電気炉14を用い、バーナー台移動装置5に代えて電気炉移動装置15を用いればよい。電気炉は当業界で公知のものであれば特に制限なく使用可能である。

[0060] 以下に、図1の構成の延伸装置を用いた光ファイバ母材の延伸加工の具体例を説明する。

実施例 1

[0061] 出発母材には、外径が長手方向に75mm～96mmの範囲で変動する光ファイバ母材を使用した。加熱バーナー4に可燃性ガスとして水素ガスを390l(リットル)／分、支燃性ガスとして酸素ガスを160l／分の割合でそれぞれ供給し、被加熱部分における最高表面温度が2100℃前後になるように加熱制御した。延伸開始端を光ファイバ母材の外径が85mmの部分とし、延伸目標外径を75mmとした。加熱バーナーの基準移動速度Vbは、経験的に6.9mm／分とした。

[0062] 加熱バーナー4が位置(固定チャック2からの距離)xにあるときの加熱バーナー4の目標移動速度Vb(x)は、出発母材の長手方向位置xにおける直径をD(x)とし、出発母材の最大外径をD_{max}とし、延伸目標外径をDtとするとき、式(3)で算出した。即ち、基準移動速度Vbを[D_{max}/D(x)]の三乗に比例させて変化させた。

[0063] また、加熱バーナー4が位置xにあるときの移動チャック3の移動速度、即ち光ファイバ母材の目標引張速度Vt(x)は、式(4)で算出した。

$$Vb(x) = Vb \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (3)$$

$$Vt(x) = Vb(x) \cdot [(D(x)/Dt)^2 - 1] \quad (4)$$

[0064] 式(4)から、出発母材の最大外径部分の外径が5mm減少するように延伸する場合には、移動チャック3の最大移動速度Vt(x)_{max}は、式(5)で表されることが分かる。

$$Vb(x) \cdot [(D_{\max} / (D_{\max} - 5))^2 - 1] \quad (5)$$

[0065] 本実施形態では、出発母材の最大外径は96mmであり、最大外径部分の外径が96-75=21(mm)だけ減少するように延伸するが、延伸設備や出発母材に過大な負荷(張力)がかからないようにするため、式(5)にD_{max}/D(x)の二乗を掛けたものである式(6)で表される値をVt(x)の上限値とした。

$$Vb(x) \cdot [(D_{max}/(D_{max}-5))^2 - 1] \cdot [D_{max}/D(x)]^2 \quad (6)$$

[0066] 式(4)で表される値が式(6)で表される値より大きい場合は、移動チャック3の目標移動速度Vt(x)を式(6)で表される値に設定した。また、この場合には加熱バーナー4の目標移動速度Vb(x)を式(7)で表される値に設定した。

$$\begin{aligned} Vb(x) &= Vt(x) / [(D(x)/Dt)^2 - 1] \\ &= Vt(x) \cdot Dt^2 / [D(x)^2 - Dt^2] \quad (7) \end{aligned}$$

[0067] 加熱バーナー4の移動速度($=Vb(x)$)と、移動チャック3の移動速度、即ち光ファイバ母材の引張り速度($=Vt(x)$)は、図5に示す通りであった。図5のグラフにおいて、縦軸は加熱バーナー4の移動速度(mm/分)、横軸は出発母材の外径(mm)を表す。太い実線及び細い実線はそれぞれ、本実施形態における $Vb(x)$ 及び $Vt(x)$ を示す。加熱装置の移動速度を一定(6.9mm/分)とする従来の方法でも延伸を行った。太い点線及び細い点線はそれぞれ、従来技術の延伸装置における $Vb(x)$ 及び $Vt(x)$ を示す。

[0068] 延伸結果を図6に示す。図6のグラフにおいて縦軸は出発母材(図6では点線で示す)または延伸加工して得られた延伸母材、即ちプリフォーム(図6では実線で示す)の外径(mm)、横軸は細径端を基準位置(0mm)とする出発母材又は延伸母材の長手方向位置(mm)である。延伸母材の長手方向での外径変動幅は約0.1mmであった。本発明により、出発母材の外径変動幅が21mmと大きい場合でも、それを極めて均一な外径に延伸できることが確認された。また、従来、延伸初期にしばしば発生していた延伸母材の径のハンチングが無いことも確認された。従って、得られた延伸母材(プリフォーム)の全域を製品として利用することができた。

[0069] 上記実施形態では加熱装置として可燃性ガスとして水素ガス、支燃性ガスとして素ガスを用いる加熱バーナーを用いたが、可燃性ガスとしてプロパンガス、支燃性ガスとして酸素ガスを用いる加熱バーナーや小型の電気炉を用いても同様の効果が得られる。

[0070] また、上記実施形態では、加熱バーナー及び移動チャックの相対移動速度を、 $[D_{max}/D(x)]$ 値の二乗から三乗の範囲内で変化させたが、加熱装置を固定して、加熱部への母材の供給移動速度、即ち母材供給チャック移動装置10を介しての母材供

給チャック9の移動速度を演算制御部により上記値の二乗乃至三乗の値で制御しても同様な効果が得られる。

- [0071] 延伸前と延伸後の外径差が5.0mm以下と小さい場合には、表面積比の影響は無視できるため、外径比の二乗に比例させて加熱装置と母材とを相対的に移動させても十分精度の高い延伸が可能である。

請求の範囲

- [1] 光ファイバ母材の長手方向両端を一対の把持具で把持し、該一対の把持具の一方又は両方を前記長手方向に平行な第一の方向に移動させることにより光ファイバ母材を引張りながら加熱装置を前記第一の方向と反対の第二の方向に光ファイバ母材に対して相対的に移動させることを含む光ファイバ母材の延伸方法であつて、前記相対的な移動速度 $V_b(x)$ を式(1)に従い変化させつつ前記光ファイバ母材の延伸を行う、延伸方法：

$$V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^2 \leq V_b(x) \leq V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (1)$$

式中、 V_b は基準速度、 D_{\max} は光ファイバ母材の最大外径、 $D(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における外径、及び $V_b(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における加熱装置の光ファイバ母材に対する相対移動速度をそれぞれ表す。

- [2] 延伸に先立ち、光ファイバ母材の外径をその長手方向にわたって測定し、前記測定の結果に基づいて、前記ファイバ母材に対する加熱装置の相対移動速度を変化させつつ、前記母材の延伸を行う、請求項1に記載の延伸方法。
- [3] 光ファイバ母材の引張速度を下記式(2)を満たす範囲内に設定する、請求項1に記載の延伸方法

$$0.5 \leq (D_t / D_{\max})^2 \leq 0.99 \quad (2)$$

式中、 D_t は延伸目標外径であり、 D_{\max} は前記式(1)で定義した意味と同じである。

- [4] 前記加熱装置は加熱バーナーであり、加熱バーナー火口の中心線と光ファイバ母材の軸線とが垂直に交わる点が、加熱バーナーの加熱により光ファイバ母材の外径が変化を始める位置から前記第二の方向に0乃至50mm離れた位置に在る、請求項1に記載の延伸方法。
- [5] 加熱装置に使用する支燃性ガスが酸素であり、可燃性ガスが水素またはプロパンである、請求項4に記載の延伸方法。
- [6] 前記加熱装置は電気炉であり、前記光ファイバ母材の長手方向と平行に前記電気炉を配置し、電気炉の長手方向中央部と光ファイバ母材の軸線とが垂直に交わる点が、前記電気炉の加熱により光ファイバ母材の外径が変化を始める位置から前記第二の方向に0乃至50mm離れた位置に在る、請求項1に記載の延伸方法。

- [7] 前記相対速度は、前記一対の把持具の一方を固定し、前記加熱装置を前記第二の方向に移動させることで生じる相対速度である、請求項1に記載の延伸方法。
- [8] 前記相対速度は、前記一対の把持具の両方を前記第一の方向に異なる速度で移動させ、かつ前記加熱装置を固定することにより生じる相対速度である、請求項1に記載の延伸方法。
- [9] 前記相対速度は、前記一対の把持具の両方を前記第一の方向に異なる速度で移動させ、かつ前記加熱装置を前記第二の方向に移動させることにより生じる相対速度である、請求項1に記載の延伸方法。
- [10] 光ファイバ母材の長手方向両端を把持する一対の把持具と、光ファイバ母材の外周を加熱する加熱装置と、前記一対の把持具の一方または両方を前記長手方向に平行な第一の方向に前記光ファイバ母材を引張るように移動させる把持具移動装置と、演算制御部とを具備する光ファイバ母材の延伸装置であつて、前記演算制御部は、光ファイバ母材の被加熱位置の目標移動速度を、前記光ファイバ母材に対する前記加熱装置の相対移動速度として演算制御し、前記相対移動速度を $V_b(x)$ とする時、 $V_b(x)$ を式(1)に従い変化させる、光ファイバ母材の延伸装置：

$$V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^2 \leq V_b(x) \leq V_b \cdot [D_{\max} / D(x)]^3 \quad (1)$$

式中、 V_b は基準速度、 D_{\max} は光ファイバ母材の最大外径、 $D(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における外径、及び $V_b(x)$ は光ファイバ母材の被加熱位置 x における加熱装置の光ファイバ母材に対する相対移動速度をそれぞれ表す。

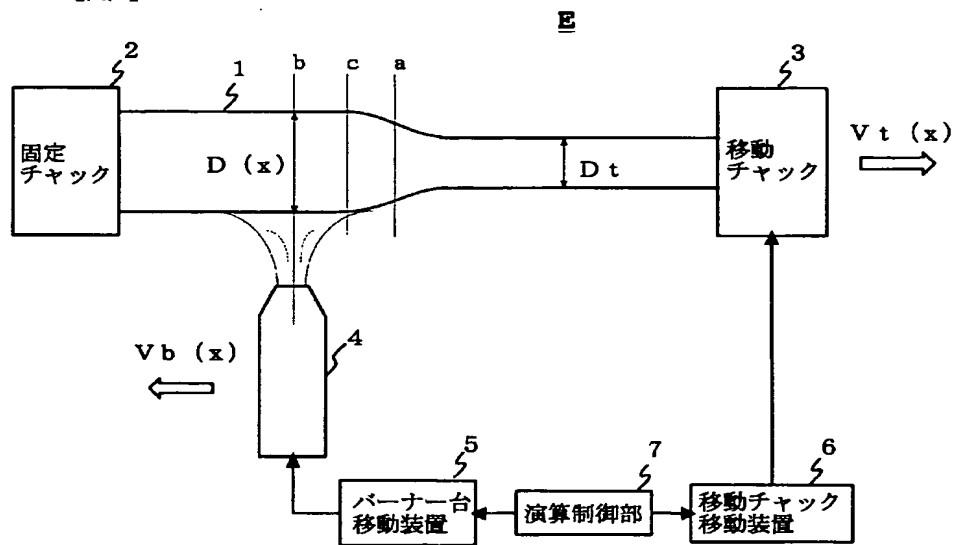
- [11] 前記光ファイバ母材の長手方向の各位置における外径を測定するための外径測定装置を更に含む、請求項10に記載の延伸装置。
- [12] 前記演算制御部は、前記光ファイバ母材の長手方向の各位置の外径寸法に基づいて、前記光ファイバの引張速度も演算し、その結果に基づいて前記把持具移動装置が、前記一対の把持具の一方あるいは両方を移動させる、請求項10に記載の延伸装置。
- [13] 前記光ファイバの引張速度を下記式(2)を満たす範囲に設定する、請求項12に記載の延伸装置：

$$0.5 \leq (D_t / D_{\max})^2 \leq 0.99 \quad (2)$$

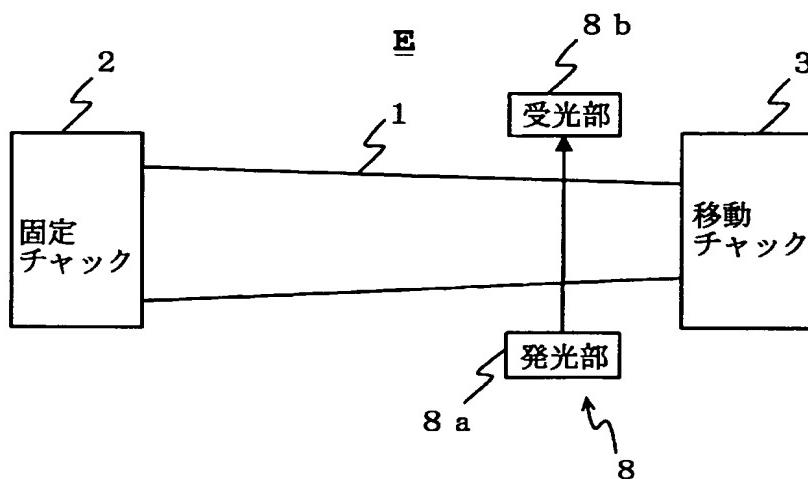
式中、 D_t は延伸目標外径であり、 D_{\max} は前記式(1)で定義した意味と同じである。

- [14] 前記一対の把持具の両方を移動させる場合、長手方向両端の前記把持具は前記第一の方向に前記光ファイバ母材が引張られるように異なる速度で前記把持具移動装置により移動される、請求項10に記載の延伸装置。
- [15] 前記加熱装置が加熱バーナーである、請求項10に記載の延伸装置。
- [16] 前記被加熱位置が、加熱バーナーの加熱により光ファイバ母材の外径が変化を始める位置から前記加熱バーナーの光ファイバ母材に対する相対移動方向に0乃至50mm離れた位置に在る、請求項15に記載の延伸装置。
- [17] 前記加熱装置に使用する、支燃性ガスが酸素であり、可燃性ガスが水素或いはプロパンである、請求項15に記載の延伸装置。
- [18] 前記加熱装置が電気抵抗加熱炉である、請求項10記載の延伸装置。
- [19] 第一の方向と反対の第二の方向に前記加熱装置を移動させる加熱装置移動装置を更に含む、請求項10に記載の延伸装置。

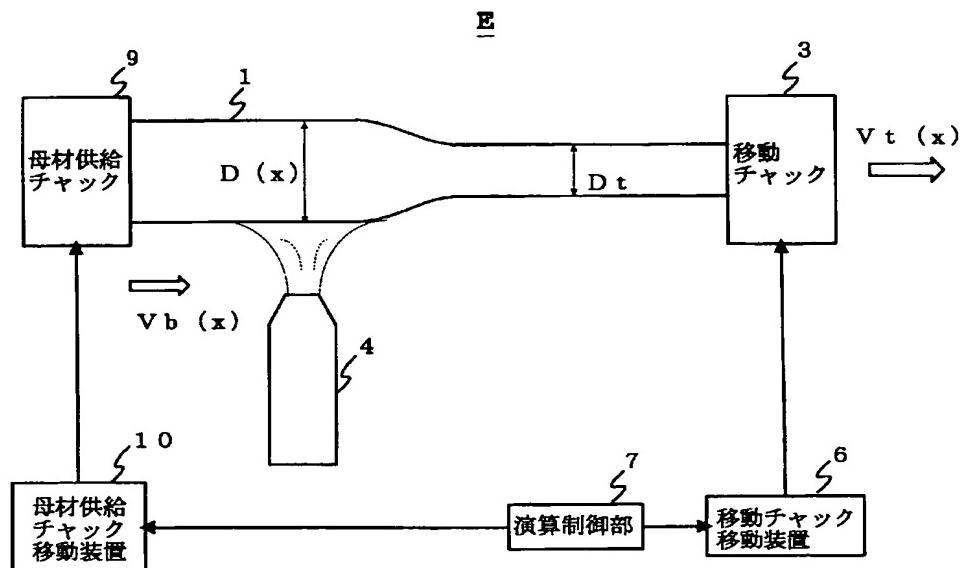
[図1]



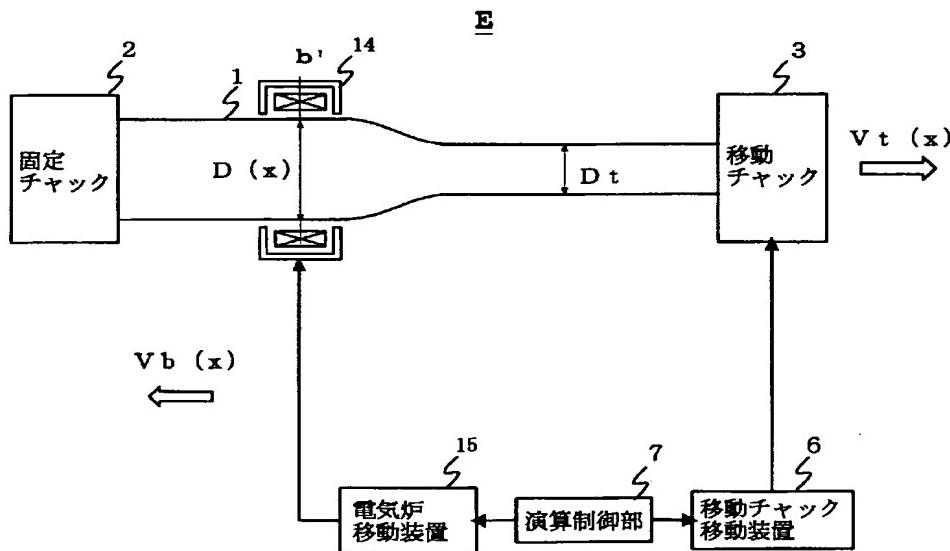
[図2]



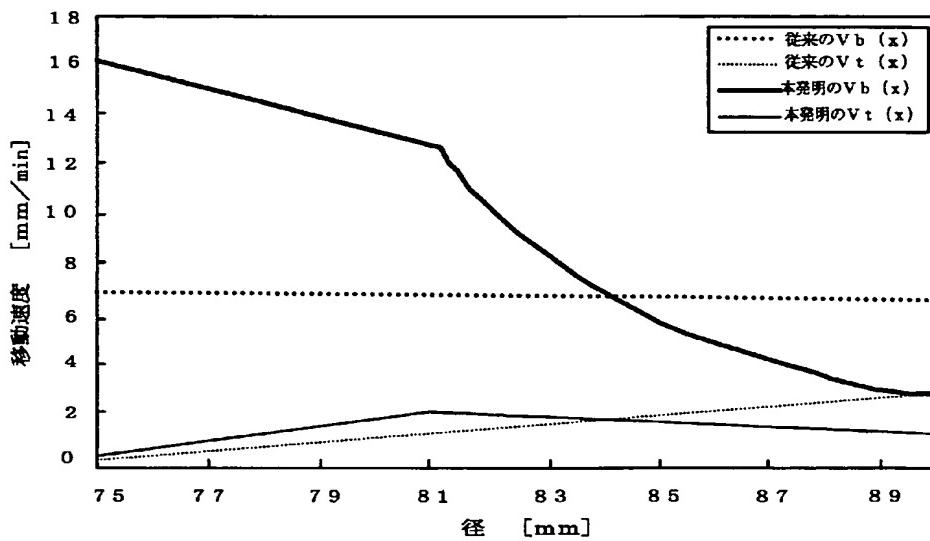
[図3]



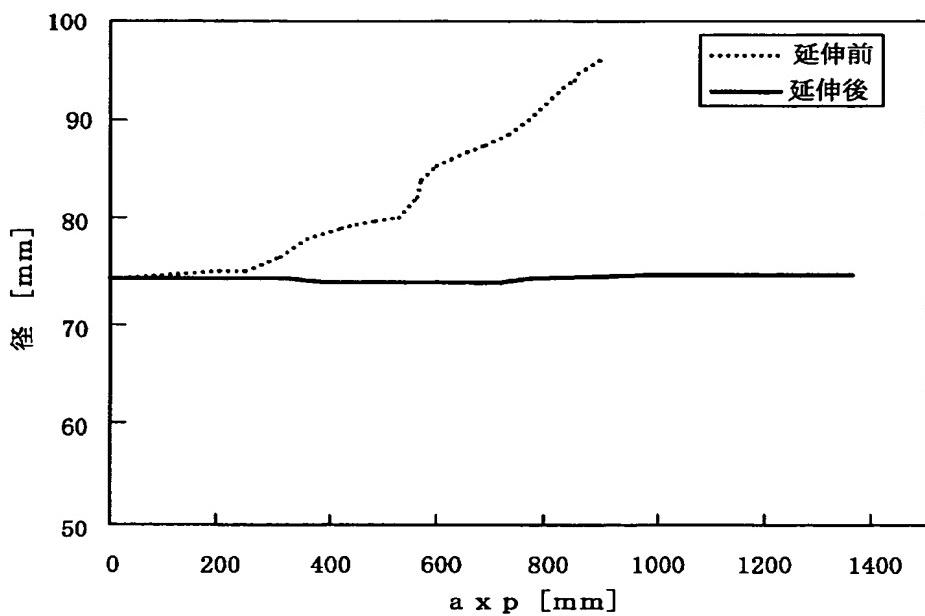
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ C03B37/012

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ C03B37/012Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 61-295253 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 26 December, 1986 (26.12.86), Full text; drawings (Family: none)	1-3, 7-15, 17; 19 4-6, 16, 18
Y	JP 2000-143270 A (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.), 23 May, 2000 (23.05.00), Par. No. [0007] & EP 0999189 A1	4-6, 16
Y	JP 02-275723 A (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.), 09 November, 1990 (09.11.90), Claims (Family: none)	6, 18

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 February, 2005 (03.02.05)Date of mailing of the international search report
22 February, 2005 (22.02.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))
Int. Cl. ' C03B 37/012

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))
Int. Cl. ' C03B 37/012

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2005年
日本国実用新案登録公報 1996-2005年
日本国登録実用新案公報 1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)
WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 61-295253 A (三菱電線工業株式会社) 1986. 12. 26, 全文, 図 (ファミリーなし)	1-3, 7-15, 17, 19
Y		4-6, 16, 18
Y	JP 2000-143270 A (信越化学工業株式会社) 2000. 05. 23, 【0007】 & EP 0999189 A1	4-6, 16
Y	JP 02-275723 A (信越化学工業株式会社) 1990. 11. 09, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	6, 18

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 03. 02. 2005	国際調査報告の発送日 22. 2. 2005
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 前田 仁志 4 T 3 3 4 2 電話番号 03-3581-1101 内線 3463